


# AVANCES DE LA GEOLOGÍA FORENSE EN ARGENTINA: BÚSQUEDA CON MÉTODOS NO INVASIVOS DE PERSONAS VÍCTIMAS DE DESAPARICIÓN FORZADA

Guillermo Luis Sagripanti<sup>1</sup>; Diego Villalba<sup>1</sup>; David Aguilera<sup>2</sup>; Aldo Giaccardi<sup>2</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v39n3-2017004> 

**Forma de citar:** Sagripanti, G.L., Villalba, D., Aguilera, D., y Giaccardi, A. 2017. Avances de la geología forense en Argentina: Búsqueda con métodos no invasivos de personas víctimas de desaparición forzada. Boletín de Geología, 39(3): 55-69.

## RESUMEN

La desaparición forzada de personas ha sido una práctica histórica a nivel mundial especializada en la eliminación y ocultamiento de los cuerpos utilizando distintos estilos y profundidades de enterramiento. Latinoamérica no ha sido la excepción a esta repudiable práctica, ya que en varios países se registran víctimas de desaparición violenta. En Colombia en la actualidad existen alrededor de 21.000 personas desaparecidas de manera forzada y en la República Argentina se estima que entre 9.000 y 30.000 personas fueron también desaparecidas de igual forma entre los años 1976 y 1983 durante un gobierno de facto denominado “dictadura militar”. A partir del año 1983 se inicia un período de sucesivos gobiernos democráticos en el cual, pese al diferente contexto socio-político, se registraron hasta el año 2014 un total de 210 desapariciones involuntarias de personas. Esta situación en Argentina demanda, de forma imperativa, la formación y el perfeccionamiento de geólogos forenses, el mejoramiento de técnicas y el desarrollo de nuevas metodologías para ser aplicadas en la ubicación de fosas clandestinas. El objetivo de esta contribución es presentar avances en las técnicas de prospección para distintos tipos y formas de ocultamiento de enterramientos clandestinos de personas, con énfasis en la utilización del georradar. La utilización de la tecnología GPR en la detección de anomalías correspondientes a distintos métodos de enterramientos ilegales y principalmente de ocultamiento de los mismos (obras, pisos, depósitos de cantos rodados, pozos de agua y residuos, cal, vegetación, etc.), es recomendada porque aumenta substancialmente la posibilidad de hallazgo. Se consideran de interés los resultados obtenidos en los distintos casos de prospección con georradar presentados, por la analogía o similitud que tienen con casos reales de distintos tipos de enterramientos y ocultamiento de fosas clandestinas.

**Palabras clave:** Enterramiento clandestino de personas; desaparecido; métodos geofísicos.

## ADVANCES OF FORENSIC GEOLOGY IN ARGENTINA: SEARCH WITH NON-INVASIVE METHODS FOR VICTIMS OF ENFORCED DISAPPEARANCE

### ABSTRACT

The forced disappearance of people has been a historical practice at world level specialized in the disposal and hiding of bodies using different methods and depths of burial. Latin America has not been the exception to this appalling practice, since victims of forced disappearance are recorded in several countries. About 21,000 people have been forcibly disappeared in Colombia at present and in the Argentine Republic it is estimated that between 9,000 and 30,000 people were also disappeared in the same way between 1976 and 1983 during a *de facto* government called “military dictatorship”. Since 1983, despite the period of successive democratic governments 210 involuntary disappeared people have been recorded until 2014. This situation in Argentina demands, in an imperative way, the training and specialization of forensic geologists, the improvement of techniques, and the development of new methodologies to be applied in the location of clandestine graves. The aim of this contribution is to present advances in prospection techniques for different types and forms of concealment of clandestine burials, with emphasis on the use of the ground penetrating radar. The use of GPR technology in the detection of anomalies corresponding to different forms of clandestine burials and mainly their concealment (buildings, concrete slabs, tanks, water pits and landfills, boulder deposits, limestone, vegetation, etc.) is recommended because it substantially increases the possibility of findings. The results obtained in the different cases of exploration with ground penetrating radar presented by the analogy or similarity that they have with real cases of different types of burial and hiding of clandestine graves are considered of interest.

**Keywords:** Clandestine burial of persons; disappeared; geophysical methods.

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. (\*gsagripanti@exa.unrc.edu.ar, dvillalba@exa.unrc.edu.ar

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina. davidaguiler@gmail.com, giaccardialdo@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La desaparición forzada de personas ha sido históricamente a nivel mundial, una práctica de destino final de las mismas; una metodología desarrollada y especializada (estilos y profundidades de enterramiento) en la eliminación y ocultamiento de los cuerpos ya sea como corolario de campañas de control ideológico contra quienes piensan diferente, no adhieren a un gobierno de turno o a una causa, o bien por problemas raciales, guerras, revoluciones, entre otros argumentos. Algunos antecedentes que se pueden citar sobre la ejecución de personas y enterramientos masivos son: los realizados durante la Guerra Civil Española, las fosas comunes soviéticas de Piatykhatty (Ucrania) entre los años 1938 y 1939, los realizados durante la masacre de Nankíng (China) por parte del ejército japonés en el año 1937, los exterminios de personas durante la segunda Guerra Mundial y en la guerra de los Balcanes, en la antigua Yugoslavia (Bosnia-Herzegovina, Croacia y Kosovo) en los años '90 (Gil-Pecharromán, 2016).

Latinoamérica no ha sido la excepción de tan lamentable y repudiable práctica, ya que en varios países existen un número significativo de personas víctimas de desaparición forzada. En estados como Colombia, en la actualidad suman alrededor de 75.000 personas desaparecidas, de las cuales se estima que alrededor de 21.000 son por desaparición forzada (Molina, 2016). En la República Argentina que desde el año 1976 hasta el año 1983 estuvo bajo un gobierno de facto denominado “dictadura militar”, miles de personas fueron arrestadas y desaparecidas. Como parte de su planificación se instalaron en el país Centros Clandestinos de Detención donde fue común el uso metódico de la tortura, el asesinato y la desaparición (Sábato, 2006). Si bien no hay acuerdo con el número, se estima que entre 9.000 y 30.000 personas fueron víctimas de desaparición forzada por este gobierno.

A partir del año 1983 en Argentina se inicia un período de sucesivos gobiernos democráticos en el cual también han ocurrido desapariciones forzadas de personas. Irigaray (2012) en el diario El Mundo de España publica un total de 197 desaparecidos para un período de 29 años de democracia y según el informe anual de la Coordinadora contra la Represión Policial e Institucional de la Argentina (CORREPI), se reportan para el período 1983-2014 un total de 210 desaparecidos. Esta situación indica y demanda que, como geólogos forenses, debemos perfeccionarnos, mejorar las técnicas empleadas y desarrollar nuevas metodologías para determinar con mayor precisión las

anomalías del subsuelo y así aumentar la posibilidad de hallazgo de estas personas desaparecidas.

Se considera oportuno, como un reconocimiento a familiares que hoy esperan por encontrar a sus seres queridos, hacer una breve mención sobre el significado de la palabra “desaparecido” antes de avanzar con la descripción de los aspectos metodológicos y resultados.

Si bien hay distintas interpretaciones sobre el significado de la misma, puede ser de referencia la que expresa el escritor Ernesto Sábato en el prólogo original del libro “Nunca Más” (Informe de la Comisión Nacional sobre la Desaparición de Personas), “en nombre de la seguridad nacional, miles y miles de seres humanos, generalmente jóvenes y hasta adolescentes, pasaron a integrar la categoría tétrica y fantasmal: la de los Desaparecidos. Palabra (¡triste privilegio argentino!) que hoy se escribe en castellano en toda la prensa del mundo” (Sábato, 2006).

Para un familiar significa que: “la desaparición de personas es el más cruel de todos los crímenes, ya que la incertidumbre resulta peor que el dolor. Persiste un eterno vacío y un interrogante permanente sobre el destino de la víctima ¿estará con vida o muerta?”. Otra expresión recogida es: “Sumado al dolor de la desaparición, el desvelo por conocer su situación añade una cuota de padecimiento. Si bien la certeza de la muerte del ser querido es un golpe devastador, la duda sobre su suerte y la búsqueda incansable de su paradero son una punzada constante y desgarradora para la que no se obtiene paz ni consuelo”. Este estado de desasosiego y la sensación de angustia infinita se reviven con cada noticia en los medios sobre la aparición de restos óseos, por nuevos dichos, rumores o testimonios que de a poco van consumiendo la esperanza del familiar que siempre espera su regreso.

En cada búsqueda de una persona desaparecida subyace una historia que requiere no sólo de un buen testimonio, de evidencias confiables, de la pericia y formación del investigador, y tecnología disponible, sino también de un mayor compromiso humano y social del profesional abocado a la misma, debido a que, mientras para el Poder Judicial el desaparecido es solamente un número de expediente o un ‘caso’ más, detrás de ese número y de ese caso hay un rostro, un ser humano que formó parte de una familia, de un grupo social, del cual fue forzosa y brutalmente alejado.

Desde hace varias décadas a nivel mundial, en países como Inglaterra, Estados Unidos, Australia, Irlanda,

Escocia, Alemania, Italia y Holanda, numerosos profesionales vienen trabajando y desarrollando métodos para la ubicación de sitios de enterramientos clandestinos de personas y técnicas para el rescate de los restos óseos y de evidencias en caso de hallazgo, e incorporando otras disciplinas científicas para ser aplicadas en el campo de la criminalística como la geología forense. Posteriormente, en Sudamérica se han sumado Argentina, Colombia y Brasil que también han comenzado a aplicar la geología para contribuir a resolver diferentes tipos de delitos (CCI, 2010; Sagripanti *et al.*, 2013).

Si bien las primeras investigaciones en geología forense eran muy elementales, en la actualidad diversas disciplinas geológicas y técnicas analíticas se utilizan para que la justicia pueda establecer la culpabilidad o inocencia de los sospechosos. Esta disciplina es la aplicación de conocimientos de Ciencias de la Tierra para obtener pruebas o evidencias, válidas a investigadores forenses, para orientar o esclarecer problemas de carácter penal, humanitario, crímenes de guerra y medio ambientales. Es decir, se aplica como apoyo a la búsqueda de verdad y justicia, ya sea para dar argumentos a la querrela o a la defensa (Ruffell y McKinley, 2008; CCI, 2010).

La geología forense, recién en el año 2011, fue reconocida como una rama de las ciencias geológicas por parte de la *International Union of Geological Sciences* (IUGS) que crea la *Initiative on Forensic Geology* (IFG) para fomentar el desarrollo internacional en esta temática. En Argentina desde el año 2004 está trabajando el Equipo de Geología Forense (EGF) de las Universidades Nacionales de Río Cuarto y San Luis, colaborando con el Poder Judicial, Organismos de Derechos Humanos, Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF) y familiares de desaparecidos, específicamente en la ubicación de sitios de enterramientos clandestinos de personas víctimas de desaparición forzada tanto durante la última dictadura cívico-militar como en democracia.

El EGF ha adecuado las metodologías geológicas-geofísicas y herramientas, usadas en investigaciones convencionales, para la prospección somera a profundidades no mayores a tres metros y la identificación de objetos de búsqueda de tamaño reducido que se manifiestan como un sutil cambio en las propiedades físicas de los materiales del subsuelo. Además, desarrolló una metodología para la ubicación de estos sitios que consta de varias etapas de investigación (Sagripanti *et al.*, 2013).

El objetivo de esta contribución es presentar avances en las técnicas de prospección para la ubicación de distintos tipos de enterramientos clandestinos de personas víctimas de desaparición forzada y de ocultamiento de los mismos, con énfasis en la utilización del georradar.

## ANTECEDENTES

La mayoría de los antecedentes y bibliografía de las actividades de geología forense han estado enfocadas principalmente a apoyar las investigaciones de criminalistas en la “escena de los hechos”. Actualmente, se ha sumado el desarrollo de estudios geofísicos en fosas clandestinas de prueba para elaborar metodologías más precisas de ubicación de estos sitios y que aumenten la posibilidad de hallazgo considerando varios factores como antrópicos, de enterramiento y climáticos, entre otros (Davenport *et al.*, 1992; Murray y Tedrow, 1992; Strongman, 1992; Pye y Croft, 2004; Ruffell y McKinley, 2008; Schultz, 2008; Schultz y Martin, 2011, 2012; Pringle *et al.*, 2012, 2015; Ruffell *et al.*, 2014; Hansen *et al.*, 2014). En Colombia los primeros ensayos empíricos para la ubicación de enterramientos clandestinos, fueron realizados aplicando métodos geofísicos en fosas simuladas, entre éstos: magnético, electromagnético, resistividad eléctrica y georradar (Molina *et al.*, 2012, 2015; Molina, 2016).

Durante muchos años la búsqueda de objetos enterrados fue una tarea bastante compleja para los investigadores forenses, ya que sólo contaban con técnicas directas destructivas que, cuando se aplicaban en el campo de la criminalística, se corría el riesgo de la pérdida o destrucción de pruebas incriminatorias o evidencias, consideradas de mucha importancia en una causa penal. En la actualidad ya se cuenta con tecnologías que permiten la prospección del subsuelo desde la superficie, en forma indirecta aunque precisa. La intervención antrópica del medio natural como en el caso de una excavación para el enterramiento de cuerpos, genera modificaciones en las condiciones naturales de los materiales que pueden ser detectadas y delimitadas en forma indirecta por medio de técnicas geológicas-geofísicas apropiadas, sin provocar alteraciones en el estado en que se encuentran los sedimentos (Aguilera *et al.*, 2006; Sagripanti *et al.*, 2012; ATSS, 2016).

Los métodos eléctricos, no invasivos, permiten determinar a través de mediciones efectuadas desde la superficie la distribución de la resistividad eléctrica del terreno en profundidad. Por medio de la utilización de tomografías eléctricas 2D y 3D se pueden obtener secciones verticales del terreno en forma de perfiles

continuos de resistividad eléctrica en dos y tres dimensiones. Esto posibilita detectar anomalías en el subsuelo a partir de la interpretación de cambios en las propiedades eléctricas de los niveles de sedimentos vinculados con modificaciones en la estructura y textura del subsuelo (Aguilera *et al.*, 2006; Sagripanti *et al.*, 2012).

La tecnología *Ground Penetrating Radar* (GPR) se ha originado debido a la necesidad de contar con mayor precisión para objetivos de búsqueda someros. Si bien fue creada para sustentar prospecciones relacionadas a desastres naturales y conflictos bélicos, ha alcanzado una importante aplicación en investigaciones arqueológicas y en la actualidad es imprescindible, junto a otros métodos geofísicos, en el campo de la geología forense (Strongman, 1992; Schultz y Martin, 2011, 2012; Sagripanti *et al.*, 2013; Hansen *et al.*, 2014; Molina, 2016).

En la ubicación de distintos tipos de excavaciones (forenses, arqueológicas, etc.) las propiedades mecánicas de los materiales del suelo son muy importantes, en particular la resistencia mecánica. Por lo tanto, la prospección del subsuelo por medio de la técnica del sondeo de penetración es de mucha utilidad, además, no genera modificaciones en el medio físico (Aguilera *et al.*, 2006; Sagripanti *et al.*, 2012).

La metodología propuesta por Sagripanti *et al.* (2013) para la búsqueda de enterramientos clandestinos de personas desaparecidas de forma forzada, cuenta con cuatro etapas, en las que participan profesionales de diferentes especialidades, estas son: Inventario e Investigación Preliminar, Prospección del Subsuelo, Exhumación e Identificación. Las investigaciones realizadas por el EGF, donde se ha seguido esta metodología, han sido principalmente en la región central de Argentina (FIGURA 1).

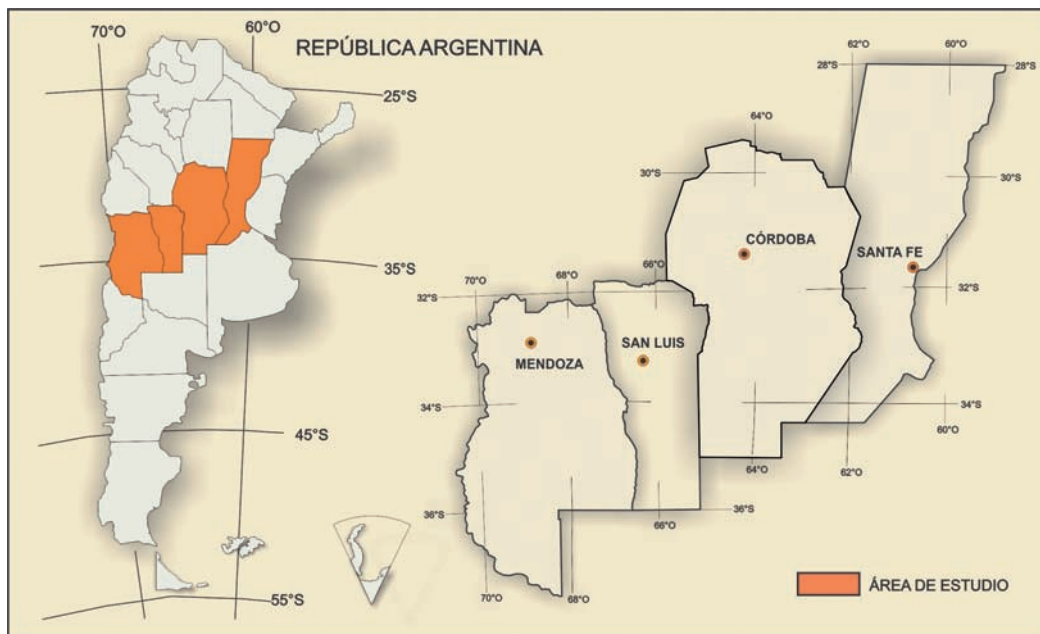
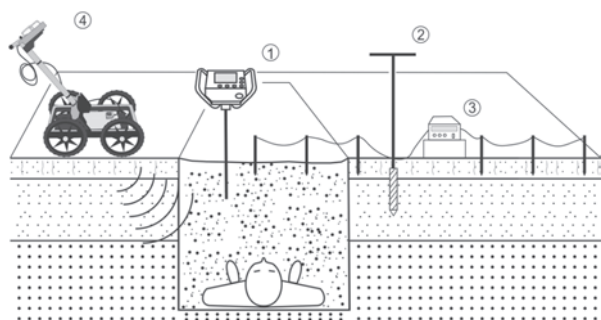


FIGURA 1. Mapa de ubicación de las distintas provincias, en las cuales el EGF ha realizado investigaciones.

Los enterramientos en Argentina han sido de diversas formas que dificultan mucho su ubicación, tanto en relación a los métodos aplicados para disponer los cuerpos (fosas individuales o múltiples sea en cementerios o en campo abierto), como a las técnicas para el ocultamiento de las fosas (disimuladas con vegetación implantada, cultivadas periódicamente, cubiertas por obras edilicias, superficies de hormigón o pavimento, entre otras) (Sagripanti *et al.*, 2013).

## TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN PARA UBICACIÓN ENTERRAMIENTOS CLANDESTINOS

En la presente contribución se describirán actividades que son desarrolladas en la etapa de Prospección del Subsuelo, como la aplicación de métodos geológicos-geofísicos eminentemente no invasivos, con énfasis en la utilización del georradar (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Metodologías aplicadas en campo, presentadas en un esquema de síntesis: 1. Ensayo de Penetración con *Penetrologger*. 2. Sondeo con Pala Vizcachera. 3. Tomografía eléctrica. 4. Georradar.

A partir de la zonificación de sitios potenciales de enterramientos clandestinos de personas obtenida de los análisis morfo-litológicos, uso del suelo y fotográfico se procede a realizar la actividad de campo comenzando con una inspección visual preliminar, con el fin de detectar algún cambio en la morfología superficial (depressiones y geometrías que ajusten con el objetivo de búsqueda), variaciones en la vegetación que hospeda (distintos patrones de crecimiento, edad, entre otros). Durante esta actividad se debe prestar atención también a la presencia y estado de las construcciones (asentamientos, grietas en paredes, rotura de pisos o veredas, etc.) que puedan estar asociados a cuerpos sepultados en el lugar. Finalmente se procede a la prospección del subsuelo de cada sitio (Sagripanti *et al.*, 2013).

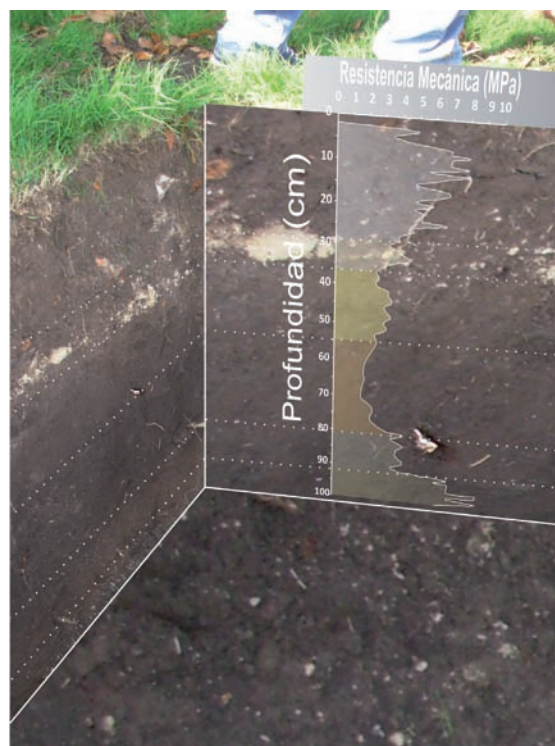
### Técnica de sondeos geomecánicos

Una vez definido el sector potencial de enterramiento es necesario abrir una calicata de exploración, donde se considere que no existe intervención antrópica del subsuelo. Esto con el objetivo de realizar una descripción detallada del perfil edáfico-estratigráfico inalterado de referencia, que sustente las interpretaciones posteriores de los datos obtenidos por otros métodos (FIGURA 3). Además, en lo posible, se debe verificar el estado de humedad en que se encuentran los sedimentos y realizar un ensayo de penetración para conocer la distribución de la resistencia mecánica de los materiales en el subsuelo y correlacionarlos con los distintos horizontes del suelo.

### Ensayo de penetración

El conocimiento de las propiedades mecánicas de los suelos de un sitio potencial de enterramiento, son muy importantes por el aporte que hacen al momento de valorar si el sitio fue excavado. Una de éstas es la resistencia a la penetración, que se determina realizando ensayos de penetración mecánica con un penetrómetro normalizado o un *Penetrologger* (FIGURA 4A). Se

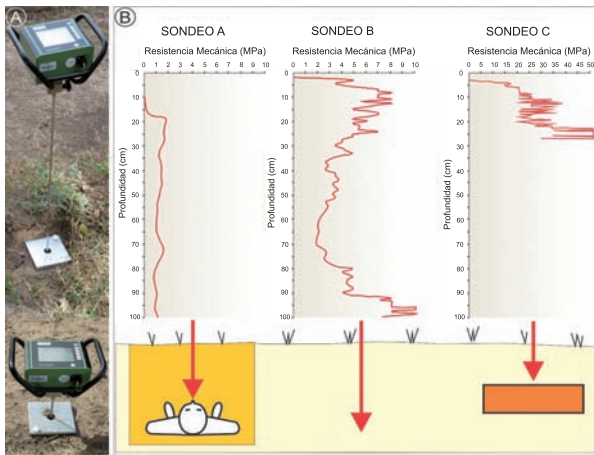
considera que esta técnica se adapta a los requerimientos y exigencias que demanda la búsqueda de fosas tapadas, muros e infraestructuras enterradas, entre otras, ya que genera mínimas modificaciones en el estado en que se encuentran los sedimentos (Aguilera *et al.*, 2006; Sagripanti *et al.*, 2012).



**FIGURA 3.** Vista de una calicata de exploración, donde se presenta el perfil edáfico-estratigráfico de referencia y resistencia a la penetración de los distintos niveles.

Después de delimitar un sector potencial de enterramiento con otros métodos se procede a realizar el ensayo de penetración, que consiste en la hincada en el suelo de una varilla metálica, que en su extremo posee una punta cónica normalizada, ejerciendo en forma manual una presión vertical sobre la misma. La equidistancia entre sondeos está en función del tamaño de la anomalía (objetivo de búsqueda) y normalmente se alinean en dos direcciones perpendiculares entre sí según la geometría de la misma. Éstos se efectúan tanto dentro como fuera de la anomalía, para lograr mayor precisión en su delimitación. Dado que se requiere verificar si los primeros centímetros del perfil del suelo han sido intervenidos de forma antrópica, el *penetrologger* se adecua a este requerimiento, ya que ha sido diseñado para medir la resistencia a la penetración hasta una profundidad de 0,80 m. Además, permite realizar mediciones en forma rápida, almacenar en forma digital los datos obtenidos y el posicionamiento geográfico del sitio de ensayo ya que cuenta con un dispositivo GPS.

Los datos obtenidos de estos ensayos permiten elaborar un perfil del suelo con la variación de la resistencia mecánica de los sedimentos en función de la profundidad. Estos resultados se analizan en forma comparativa con el perfil de referencia obtenido previamente, en la calicata de exploración, lo que permite definir en forma rápida si se está en presencia de una modificación de los materiales del subsuelo. La presencia de valores de resistencia anómalos de los sedimentos, permite interpretar una posible excavación tapada que difiere del entorno por el porcentaje de humedad, lixiviación, consolidación o compactación diferencial, etc., como así también detectar la presencia de elementos enterrados (objetos, muros, etc.) que poseen mayor resistencia que los sedimentos en su estado natural (FIGURA 4B).



**FIGURA 4. A.** Equipo de penetración, *Penetrologger*. **B.** Esquema de curvas típicas de resistencia a la penetración: Sondeo A corresponde a un perfil antrópicamente intervenido, Sondeo B a un perfil de suelo en estado natural y Sondeo C a la presencia de un muro oculto en el subsuelo.

Se ha comprobado que los resultados son confiables solo para aquellos casos en que las fosas no tengan más de un año de excavadas (Sagripanti *et al.*, 2013).

### Sondeo con barreno manual

El sondeo con barreno o pala Vizcachera (SPV) es un procedimiento mecánico manual, que se basa en la rotación de una herramienta de corte que desagrega el terreno y una cuchara que permite almacenar y extraer muestras de detritos (*cutting*) hacia la superficie desde una profundidad conocida (FIGURA 5A). Se emplea solamente en terrenos poco coherentes o de baja dureza (Puy Huarte, 1977; González de Vallejo *et al.*, 2002).

La aplicación de esta herramienta en un sitio permite realizar el muestreo continuo de los materiales del subsuelo que se organizan, de acuerdo a su posición

estratigráfica, en un plano horizontal. Se determinan los sedimentos y se comparan con el perfil litológico de referencia. La información obtenida permite interpretar en forma precisa si el lugar explorado fue excavado (FIGURA 5B).

Se considera importante el uso de esta herramienta sencilla porque, a diferencia de otros métodos, si una fosa se ha ocultado con alguna obra de ingeniería (vivienda, piso de hormigón, etc.) se puede acceder al subsuelo y extraer muestras de materiales con la mínima afectación de la misma. Se procede realizando un corte en el piso, de aproximadamente 30 x 30 cm, y se excava hasta dejar expuesto el techo del perfil a investigar (FIGURA 5C).



**FIGURA 5. A.** Obtención de los materiales extraídos por la cuchara del barreno manual. **B.** Perfil litológico del subsuelo reconstruido en superficie con muestras obtenidas a distintas profundidades. **C.** Ejemplo de corte en un piso de cerámicos, dentro de una habitación, para acceder al subsuelo.

### Prospección geofísica

Los métodos de prospección geofísica constituyen una herramienta básica para la detección y delimitación de anomalías en el subsuelo, de posible origen antrópico, que puedan estar vinculadas a excavaciones para enterramientos clandestinos de personas. Se ha comprobado que, entre las distintas técnicas utilizadas para hacer una prospección somera de detalle en este tipo de búsquedas, la tomografía eléctrica y el georradar son las que ofrecen resultados más satisfactorios y una adecuada relación costo-beneficio. Se considera además,

que para obtener buenos resultados, los enterramientos deben encontrarse entre el primer y tercer metro de profundidad, dependiendo de si se trata de una fosa individual o el enterramiento es múltiple.

### Tomografía eléctrica

Este método geofísico consiste en introducir una corriente eléctrica continua en el suelo a través de dos electrodos de corriente, y medir el voltaje producido entre otro par de electrodos convenientemente ubicados en el terreno. A partir del valor de la corriente suministrada y del voltaje medido se obtiene la resistividad aparente en un punto del subsuelo. Variando las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor se obtiene una sección de resistividad aparente a varios niveles de profundidad. Los datos posteriormente son tratados por medio de algoritmos matemáticos de inversión del que resulta una “imagen de resistividades y profundidades verdaderas” que se correlaciona con la información geológica, geoquímica, hidrogeológica, edafológica y perforaciones. El arreglo geométrico considerado más adecuado para detectar una anomalía correspondiente a una fosa, es el denominado dipolo-dipolo (Aguilera *et al.*, 2006).

Cada tipo de material presenta un rango de resistividad más o menos característico. Cuando se realiza una intervención antrópica en los materiales del subsuelo por medio de una excavación que posteriormente es tapada, se produce una mezcla de los distintos horizontes del suelo, y por lo tanto se modifican las propiedades eléctricas originales del material de relleno. Este cambio provoca una alteración al paso de la corriente eléctrica en relación a su entorno, que al ser prospectado con una tomografía eléctrica se detecta como una anomalía, reconociéndose claramente sus límites y profundidad. Si se combinan adecuadamente resolución lateral y profundidad de investigación este método geofísico es una de las técnicas de carácter no destructivo eficaz para el estudio y caracterización de posibles discontinuidades del subsuelo, con detalle en los primeros metros de profundidad (FIGURA 6A).

La imagen que presenta la distribución de resistividad aparente del terreno fue obtenida por medio de una tomografía eléctrica, donde se observa una anomalía en el subsuelo de las dimensiones del objetivo de búsqueda, que se interpretó como una posible excavación clandestina. La geometría, dimensiones y profundidad de la anomalía en la gráfica fueron constatadas cuando se excavó el sitio y se alumbró una fosa clandestina de varias décadas de antigüedad (FIGURA 6B).

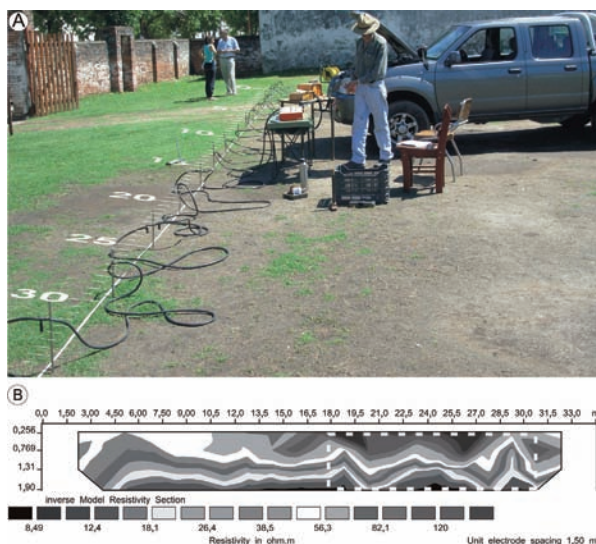


FIGURA 6. A. Vista de la disposición de los electrodos durante la realización de una tomografía eléctrica. B. Imagen donde se indica con un rectángulo la anomalía interpretada, correspondiente a una fosa de varias décadas de antigüedad.

### Georradar

La tecnología GPR se considera una forma de prospección no destructiva, no intrusiva, rápida, eficaz y confiable cuando se utiliza en prospecciones someras, con buenos resultados para la detección de objetos enterrados. La misma se complementa con otros métodos geofísicos y se adecua muy bien a la escala de los objetivos de búsqueda en las investigaciones de geología forense (Strongman, 1992; Sagripanti *et al.*, 2013).

El georradar utiliza los principios básicos de cualquier sistema radar y posee una configuración simple compuesta por una antena transmisora, otra receptora y una unidad de control y almacenamiento de datos. La energía reflejada como un frente de ondas es tomada por la antena receptora del sistema, y a partir de la medición de los tiempos de retardo de éstas y del conocimiento de la velocidad de propagación de las mismas en el material por el que se desplazan, se calcula la profundidad a la que se encuentra el objeto (Strongman, 1992; González de Vallejo *et al.*, 2002; Sagripanti *et al.*, 2013).

La antena transmisora emite un pulso o señal electromagnética dirigida hacia el subsuelo, cuya frecuencia de emisión escogida está en función de la relación entre las dimensiones del objeto de búsqueda y el rango de penetración que se necesita alcanzar. Ésta se refleja en parte, dependiendo de las propiedades electromagnéticas de los materiales que atraviesa, como conductividad, permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética. Las reflexiones de las ondas se producen

debido a los contrastes entre estas propiedades, la existencia de éstos significa la detección de una anomalía que puede o no ajustarse con el objetivo de búsqueda.

El pulso electromagnético emitido se repite muchas veces en un segundo y, como la antena transmisora-receptora se desplaza sobre un carro, a través de la superficie a prospectar, las señales reflejadas definen un perfil transversal del subsuelo que se muestra gráficamente en una imagen radar, denominada radargrama. Estas imágenes normalmente son sometidas a un post procesamiento que consiste en la aplicación de distintos filtros con el objetivo de resaltar todos los contrastes presentes en la señal. Esto es debido a que las reflexiones electromagnéticas que componen a las mismas son la suma de “ruido” electromagnético propio del equipamiento y ambiental (ruido cultural), y las reflexiones del subsuelo (reflexión de la onda, en su pasaje a través de los diferentes medios que componen el subsuelo). Estos filtros son algoritmos matemáticos que tienen por objetivo resaltar los rebotes que provienen del subsuelo y atenuar o intentar eliminar las componentes de “ruido” electromagnético.

Por ejemplo, la disposición próxima entre la antena de transmisión y la de recepción hace que el primer pulso de onda que es recibido es el de la onda aérea o directa, que genera en el radargrama rasgos horizontales o sub-horizontales superficiales, continuos y con mucho contraste que deben ser removidos porque interfieren o enmascaran la información presente en la parte superior de la imagen. Es por ello que uno de los filtros que se aplica para su remoción es el DMT (*Delete Main Trace*). Otros filtros que se aplican para mejorar las imágenes radar son el *DC Filtre*, el *FIR* y el *Time Gain*.

Entre las principales ventajas de la tecnología GPR se pueden citar la rapidez en la adquisición de datos y su versatilidad ya que posibilita que se pueda realizar el relevamiento del subsuelo tanto donde los sedimentos están aflorando, como así también en sitios donde existen pisos (baldosas, pavimento, etc.), por ejemplo dentro de viviendas, sobre calles o carreteras, entre otros. Además, posibilita realizar la prospección a distintas profundidades de acuerdo al objetivo de búsqueda, ya que permite intercambiar antenas con diferentes frecuencias.

Son numerosas las prospecciones (geológicas, arqueológicas y forenses) realizadas por el EGF en la etapa de calibración del georradar (MALÀ GX *Geoscience*), que corresponden a distintos casos que se consideran análogos a situaciones de enterramiento

y ocultamiento de fosas clandestinas reales; de allí el interés en reportar los resultados. A continuación se presentan solo los radargramas e interpretaciones logrados en estas investigaciones, debido a que la información y conclusiones obtenidas en situaciones reales no se pueden hacer públicas porque corresponden a distintas causas penales.

Las prospecciones fueron realizadas sobre sedimentos principalmente limos, arenas y en algunos casos gravas, en condiciones de bajo porcentaje de humedad. La totalidad de las mismas se realizaron utilizando una antena blindada de 450 Mhz, HDR (*High Dynamic Range*), que permite obtener menor nivel de ruido y una mejor resolución en los primeros metros de profundidad. En el post procesamiento de los radargramas se utilizaron cuatro filtros (*DC*, *Delete Main Trace*, *Time Gain* y *FIR*) obteniéndose las imágenes definitivas para analizar, de las cuales se presentan las ventanas que poseen las anomalías de interés. Los resultados e interpretaciones son expresados en los siguientes casos:

*Caso 1:* Se excavó una fosa a la intemperie para un enterramiento clandestino simulado en un sitio próximo a la ciudad de Río Cuarto (FIGURA 7A), con el objetivo de realizar un control de campo de la evolución de dos aspectos. Uno relacionado a los contrastes de las propiedades que generan en el medio físico, tanto el material de relleno de la fosa como elementos enterrados y el otro vinculado a la definición de los límites de la anomalía con el transcurso del tiempo. Se ha planificado hacer este control cada 5 meses para obtener datos bajo distintas condiciones. El sitio tiene 25 metros de largo por 25 metros de ancho y está ubicado en una zona de llanura que posee un clima templado y con una precipitación media anual de 846 mm.

La fosa de control se realizó con orientación N-S, el 09-Set-2016 y con dimensiones de 2,50 m de largo, 0,65 m de ancho y 1,10 m de profundidad. Su perfil edafológico está conformado, desde el piso al techo, con un horizonte  $B_{\text{w}}$  arenolimoso grueso hasta los 0,30 m y de un horizonte A con abundante arcilla y materia orgánica. En la misma, se enterraron restos óseos vacunos, vestimentas, calzados y un elemento metálico (FIGURA 7B) y se realizaron dos prospecciones con georradar, orientadas a lo largo de su eje longitudinal, el día 14-Set-2016 y otra 5 meses después, el día 14-Feb-2017.

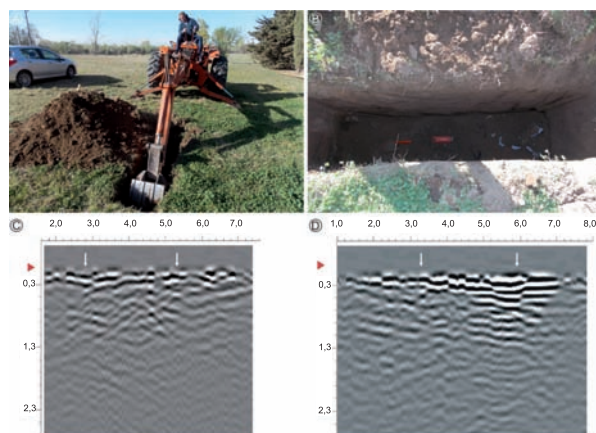
En el análisis del radargrama relevado el día 14-Set-2016 (FIGURA 7C) se interpreta una anomalía conformada principalmente por reflectores planos generados por el



material de relleno de la fosa y limitada por reflexiones hiperbólicas débiles que corresponderían a las paredes de la excavación. La misma está entre los metros 2,80-5,40, y hasta una profundidad de 1,00 metro, éstas se corresponden con las dimensiones de la excavación.

En el radargrama correspondiente el día 14-Feb-2017, se puede verificar que la anomalía sigue definida por reflectores planos y limitada por reflexiones hiperbólicas débiles que corresponderían al relleno de la fosa y paredes respectivamente (FIGURA 7D).

Sobre la base de la interpretación realizada se comprueba que el depósito de ropas, calzados, restos óseos vacunos y elemento metálico, en la fosa simulando un enterramiento real, genera una imagen con reflexión hiperbólica muy tenue que no permite suponer la presencia de estos elementos. Sin embargo, la detección e interpretación de los reflectores planos generados por el relleno de la fosa y de la reflexión hiperbólica débil correspondiente a las paredes, permiten definir los límites de la misma aún después de 5 meses de cerrada. Se considera que, en el caso de un enterramiento clandestino verdadero con estas características y antigüedad, la posibilidad de hallazgo es muy alta utilizando un georradar.



**FIGURA 7.** A. Vista excavación fosa simulada. B. Foto de una vista superior de la fosa. C. Radargrama 14-Set-2016. D. Radargrama 14-Feb-2017. En ambos las flechas indican los límites interpretados de la fosa.

*Caso 2:* Una prospección fue realizada a la intemperie en dos sectores, cuyas dimensiones son de 50 metros por 6 metros y de 10 metros por 4 metros, dentro del cementerio de la ciudad de Río Cuarto y con objetivo de búsqueda de anomalías correspondientes a sitios de inhumaciones y exhumaciones. Este sitio se ubica en una zona de llanura, con clima templado y precipitaciones de 846 mm anuales en promedio. El perfil litológico está formado principalmente por sedimentos finos como limos.

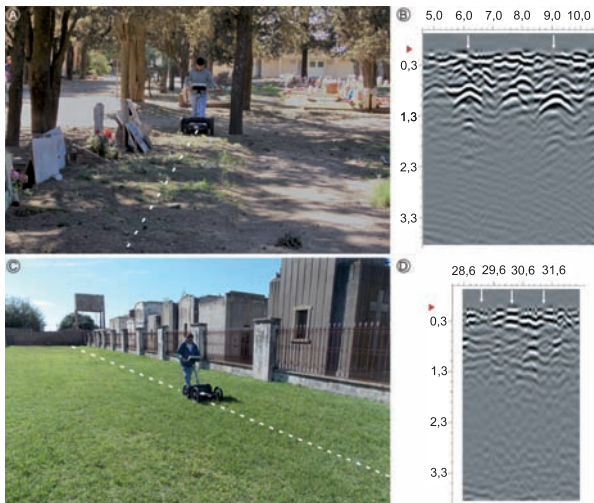
En el relevamiento realizado en el sector oeste del cementerio con orientación E-O (FIGURA 8A) se obtuvo el radargrama presentado en la FIGURA 8B. En el análisis e interpretación del mismo se detectaron dos anomalías asociadas a reflectores puntuales que generan reflexiones hiperbólicas bien definidas ubicadas en los metros 6,00 y 9,00, y cuyas dimensiones coinciden con el objetivo de búsqueda. Las anomalías que generan estas reflexiones detectadas a aproximadamente 0,90 metros de profundidad corresponderían a un nivel de féretros con sus correspondientes bandejas metálicas y las que poseen reflexiones hiperbólicas menos definidas, ubicadas a 1,70 metros más abajo en el perfil, sería otro nivel de féretros.

Se interpreta que son dos sepulturas en féretros que están dispuestas una al lado de la otra y que verticalmente poseen, al menos, dos féretros apilados cada una. Esta interpretación ha sido confirmada por el personal del cementerio.

En la prospección realizada en un patio interior del cementerio con orientación E-O (FIGURA 8C) se obtuvo un radargrama (FIGURA 8D) donde se puede ver en los metros 29,20; 30,20 y 31,20 anomalías equidistantes, con similares dimensiones y profundidad, principalmente asociadas a reflectores planos posiblemente generados por material de relleno y limitados por reflexiones hiperbólicas débiles que corresponderían al pilar que separa dos excavaciones.

Se interpreta que estas anomalías por su geometría, profundidad y equidistancia corresponderían a posibles fosas vacías. Esto ha sido confirmado por el personal del cementerio que indicó que en este sector las fosas han sido vaciadas hace varias décadas.

Las anomalías generadas por estos tipos de fosas con inhumaciones, o vacías porque se han realizado exhumaciones, se consideran ejemplos relevantes y para tener presentes ya que, como ha sido comprobado en otros casos, la modificación en el medio físico generada por la intervención antrópica se puede detectar después de varias décadas. Por otra parte, el enterramiento clandestino de una persona en un féretro (existen antecedentes) genera una anomalía que se puede detectar y delimitar con mucha precisión con un georradar. Por lo tanto, se considera que la utilización de esta tecnología en la ubicación de un sitio que ha sido un enterramiento primario o en féretros, aumenta substancialmente la posibilidad de hallazgo.



**FIGURA 8.** A. Vista inhumaciones sector oeste cementerio. B. Radargrama con reflexiones hiperbólicas de fértros, las flechas indican la ubicación de los mismos. C. Vista patio interior cementerio. D. Radargrama donde se indican con flechas las fosas vacías.

*Caso 3:* Una prospección fue realizada en un sitio próximo a Córdoba Capital y con objetivo de búsqueda de una anomalía correspondiente a un enterramiento clandestino (FIGURA 9A).

El sitio comprende una superficie de aproximadamente 50 metros de ancho por 70 metros de largo y se ubica en una zona de pedemonte que posee un clima templado con precipitaciones medias de 770 mm/año. El perfil litológico está formado por limos, arenas y gravas dispersas. En el análisis e interpretación del radargrama obtenido, relevado con orientación N-S (FIGURA 9B) se detectó una anomalía definida principalmente por reflectores planos posiblemente generados por material de relleno. Los límites de la misma están entre los metros 6,60-11,20 y su piso a una profundidad de 1,00 metros.

Posteriormente con una pala mecánica *Bobcat* se realizó la excavación del sitio para constatar la anomalía detectada. A los 0,30 metros se alumbró el techo de un depósito de cantos rodados de litoclastos y se continuó excavando hasta 1,30 metros de profundidad para atravesar todo este nivel, que tiene 0,70 metros de espesor. Esta profundización se realizó para constatar que el depósito no estuviera ocultando un enterramiento clandestino (FIGURA 9C, 9D).

Sobre la base de antecedentes y conocimientos adquiridos en otros casos, a la anomalía generada por este depósito y visualizada en el radargrama, se la considera equivalente a la práctica de un tipo de enterramiento y ocultamiento de una fosa. Esta modalidad se lleva a cabo depositando arriba de los cuerpos un importante

volumen de cantos rodados o escombros que después son tapados con un potente espesor de sedimentos para dificultar su detección y también su excavación. Este ejemplo se considera que es relevante porque en caso de buscar un enterramiento real, el mismo se puede delimitar con precisión con un georradar.



**FIGURA 9.** A. Vista panorámica del sitio preparado para ser prospectado con el georradar. B. Radargrama obtenido, las flechas indican los límites del depósito interpretado. C. Vista del perfil de la excavación, las líneas de trazos demarcan la geometría del depósito detectado. D. Vista de la excavación, las líneas de trazos indican donde se alumbró el techo de los cantos rodados.

*Caso 4:* Una prospección fue realizada sobre el piso de hormigón en el interior de una vivienda de aproximadamente 10 metros de largo por 4 metros de ancho, ubicada en la margen derecha del río Cuarto y con objetivo de búsqueda de una anomalía correspondiente a un enterramiento clandestino de una persona (FIGURA 10A). El clima de la región es templado con precipitaciones de 846 mm/año. El perfil litológico está formado principalmente por arenas finas y limos.

En el análisis e interpretación del radargrama, relevado con orientación E-O (FIGURA 10B) se detectó una anomalía definida por reflectores planos correspondientes a un posible material de relleno cuyas dimensiones coinciden con el objetivo de búsqueda. Sus límites laterales y su profundidad están definidos entre los metros 2,00-2,80 y 0,80 metros respectivamente.

Resulta de la excavación del sitio para constatar la anomalía detectada, un depósito de basura, cenizas, restos óseos de animales incinerados y escombros de aproximadamente 0,70 metros de espesor (FIGURA 10C).

La anomalía generada por este depósito es considerada, con el fundamento de experiencias registradas anteriormente, como equivalente a la práctica de un tipo

de enterramiento y ocultamiento de una fosa clandestina donde después de depositar un cuerpo se lo incinera y cubre con residuos y escombros y, en algunos casos, se completa el ocultamiento con un piso de hormigón. Por lo tanto, la anomalía detectada en esta situación es un importante ejemplo porque, en caso de realizar la prospección para la ubicación de un enterramiento real, el mismo se podría detectar y delimitar con precisión con un georradar.



**FIGURA 10.** A. Vista interior de la vivienda donde se realizó la prospección. B. Radargrama obtenido, las flechas indican los límites de la anomalía. C. Vista de la excavación donde se muestra el piso de hormigón abierto y el depósito de basura y cenizas alumbrado.

*Caso 5:* En este caso, la prospección fue realizada con orientación E-O en un terreno cuya superficie es de 50 metros por 5 metros, contiguo a un cementerio de una localidad próxima a la ciudad de Río Cuarto y con objetivo de búsqueda de una anomalía correspondiente a un enterramiento clandestino (FIGURA 11A). Es un ambiente de llanura con un clima templado y precipitaciones anuales superior a 700 mm en promedio. El perfil de los materiales del subsuelo está compuesto en los primeros metros por limos.

En el análisis e interpretación de uno de los radargramas obtenidos (FIGURA 11B), se detectaron dos anomalías. Una definida por reflectores planos posiblemente generados por material de relleno con continuidad lateral y hasta los 0,50 metros de profundidad. La otra está definida por reflectores planos que podrían corresponder a material de relleno de una fosa y limitada por reflexiones hiperbólicas débiles que corresponderían

a las paredes laterales de una posible excavación. Estos límites están entre los metros 13,80-15,80 y a una profundidad de 0,90 metros.

El sitio fue excavado con una pala mecánica *Bobcat* para constatar las anomalías detectadas, y se alumbró, en los primeros 0,50 metros, un depósito de escombros que tiene continuidad lateral y que sobreyace a una fosa que ha sido rellena con basura, cenizas, restos óseos de animales y, que posee en el interior un nivel de cal de 0,10 metros de espesor (FIGURA 11C, 11D).

Las anomalías en el subsuelo generadas por estos depósitos se consideran, sobre la base de antecedentes y conocimientos adquiridos en casos precedentes, como equivalentes a la práctica de un tipo de enterramiento y ocultamiento de una fosa clandestina, donde después de depositar el cuerpo, se lo cubre con escombros y residuos y, en muchos casos también con una capa de cal para que la degradación del cuerpo sea más rápida y evitar las emanaciones de olor. Se completa el ocultamiento realizando un relleno de escombros, de importante espesor, que imposibilita el desentierro de los restos por la acción de distintos tipos de animales.

Se considera que estas anomalías detectadas e interpretadas son un importante ejemplo, porque en caso de realizar una prospección para la ubicación de un enterramiento real con estas características, el mismo se puede delimitar con facilidad y precisión con un georradar.

*Caso 6:* Se realizó la prospección del subsuelo a la intemperie en el patio, de 30 metros por 25 metros, correspondiente a un predio histórico, próximo a Córdoba Capital, cuyo objetivo de búsqueda fue una anomalía correspondiente a una obra arqueológica. En el sector relevado no se reconoce ninguna morfología en superficie que se vincule con este objetivo (FIGURA 12A). Este predio se emplaza en una zona de pedemonte de la Sierra Chica de Córdoba y está en una región que posee un clima templado con una precipitación, de 750 mm, anual. El perfil de los sedimentos del subsuelo está conformado por limos, arenas y gravas dispersas.

Durante el relevamiento se obtuvieron dos radargramas cuyas orientaciones son perpendiculares entre sí (S-N y E-O). Resulta del análisis e interpretación de éstos, la detección y delimitación de una anomalía cuyas dimensiones coinciden con el objetivo de búsqueda. Se presenta el radargrama relevado con orientación E-O (FIGURA 12B), donde los límites de la anomalía son identificados con claridad entre los metros 2,80-4,60 y hasta una profundidad de 2,30 metros.



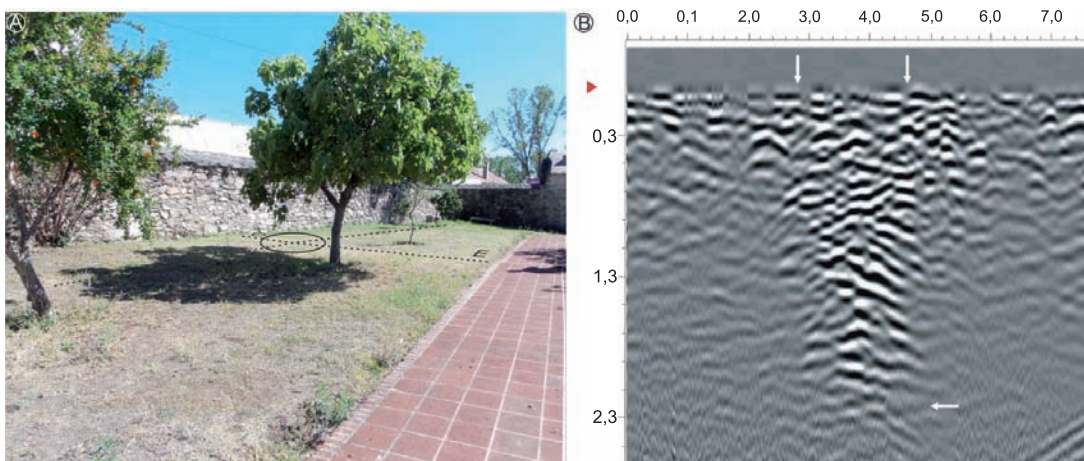
**FIGURA 11.** A. Vista del exterior del cementerio donde se indica con un recuadro la ubicación de la fosa. B. Radargrama obtenido, las flechas indican los límites de la anomalía. C. Vista del perfil de la anomalía excavada donde se reconoce el límite del relleno, indicado con líneas de trazos. D. Vista de la excavación donde se reconocen los límites del nivel de cal, indicado con líneas de trazos.

De acuerdo a la información aportada por las imágenes de los radargramas obtenidos se interpreta que la anomalía correspondería a un pozo, de aproximadamente 1,80 metros de diámetro, posiblemente estabilizado con ladrillos u otro material y actualmente relleno.

Si bien la anomalía es detectada con claridad, en superficie no presenta ninguna morfología diagnóstica que sugiera una excavación de este porte (FIGURA 12A). Por lo tanto, de acuerdo a conocimientos adquiridos en anteriores casos, se considera a esta anomalía como equivalente a la que genera la práctica de un tipo de enterramiento y ocultamiento de una

fosa clandestina. En esta modalidad después de depositar el cuerpo en un pozo, normalmente de agua por su profundidad, éste es relleno con residuos, mampostería, otros cuerpos, explosivos y, en algunos casos el mismo es derrumbado o cerrado mediante el uso de cargas explosivas.

Se considera que la anomalía detectada es un ejemplo relevante porque en caso de la prospección para la ubicación de un enterramiento real con estas características y de varias décadas de antigüedad, el mismo se podría detectar y delimitar con mucha precisión utilizando un georradar.



**FIGURA 12.** A. Vista del patio donde se detectó la anomalía, el círculo y líneas de trazos indican la posición de la misma y la orientación del relevamiento. B. Radargrama correspondiente a la anomalía detectada, las flechas indican sus límites.

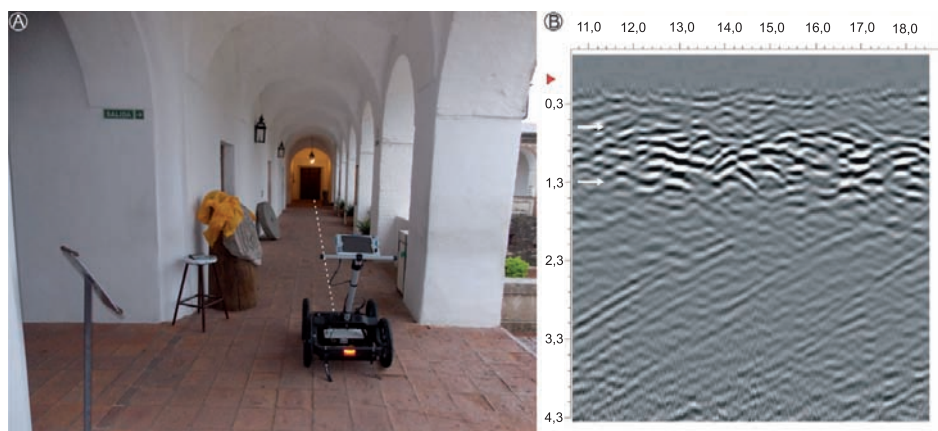
*Caso 7:* Se realizó una prospección con orientación S-N dentro de una galería techada de 20 metros por 2,5 metros y con piso de baldosas de un predio histórico (FIGURA 13A), próximo a Córdoba Capital, cuyo objetivo de búsqueda fue de una anomalía correspondiente a una obra arqueológica. El edificio está construido en una zona de pedemonte de la Sierra Chica de Córdoba cuyo clima es templado con precipitaciones de 750 mm/año. El perfil de los sedimentos del subsuelo está formado por limos, arenas y gravas dispersas.

En el análisis e interpretación del radargrama obtenido (FIGURA 13B) se detectó una anomalía cuyas dimensiones coinciden con el objetivo de búsqueda. Sus límites son definidos entre 0,60-1,30 metros de profundidad.

Sobre la base de la información aportada por la prospección se interpreta que la anomalía podría corresponder a un muro de forma prismática, de al menos, 0,70 metros de espesor y se estima de 0,90 metros de ancho, posiblemente construido con calicanto (cal y cantos rodados) o ladrillos.

La anomalía generada por este supuesto muro es detectada con claridad bajo el piso de baldosas y, los conocimientos adquiridos en casos precedentes permiten considerarla equivalente a la práctica de un tipo de enterramiento y ocultamiento de una fosa clandestina. En esta práctica, después de depositar un cuerpo en una fosa, ésta es rellenada con cemento (encofrado) para evitar las emanaciones de olor y dificultar su hallazgo, y posteriormente se realiza un piso de concreto u obra de arquitectura sobre la misma para completar el ocultamiento. En otra práctica similar, se deposita el cuerpo en un tambor y se lo rellena con cemento y luego se lo entierra en posición horizontal. Posiblemente en este último caso se obtendría una reflexión hiperbólica puntual bien definida en el radargrama.

Se considera que la anomalía detectada es un ejemplo de interés porque en caso de la prospección para la ubicación de un enterramiento real de varias décadas de antigüedad y con las características descritas, el mismo se podría detectar y delimitar de forma confiable y precisa con un georradar.



**FIGURA 13.** A. Vista general de la galería relevada. B. Radargrama correspondiente a la anomalía detectada, casi paralela a la línea de prospección, cuyo techo y piso se indican con flechas.

## DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

El EGF ha logrado disponer de la tecnología GPR e integrarla a la metodología desarrollada para la ubicación de sitios potenciales de enterramientos clandestinos, esto junto a los resultados obtenidos y los conocimientos adquiridos por la participación de este equipo en numerosas búsquedas, permite afirmar que en la República Argentina se ha hecho un significativo avance del conocimiento en el campo de la geología forense, orientado a la ubicación de fosas clandestinas.

Los ensayos realizados por el EGF sobre distintas formas de prueba, análogas y reales de enterramientos clandestinos y de técnicas de ocultamiento de los mismos (obras de ingeniería, pisos, depósitos de cantos rodados, pozos de agua y residuos, cal, vegetación, etc.) demuestran que, con las condiciones apropiadas del medio físico (tipo de sedimentos, humedad, etc.) la utilización del georradar en la detección de anomalías en el subsuelo, vinculadas a fosas clandestinas, incrementa substancialmente la posibilidad de hallazgo.

En las prospecciones del subsuelo aplicando el georradar para la ubicación de fosas clandestinas es

importante tener en cuenta que, salvo excepciones, es muy baja la posibilidad de detección en forma directa de la presencia de restos óseos humanos, ropas, calzados, etc., en el subsuelo, ya que la anomalía que generan éstos es muy tenue. Por lo tanto, el principal fin que se debe perseguir es el de detectar una anomalía que ajuste con las dimensiones del objetivo de búsqueda vinculada a una intervención antrópica del subsuelo, por medio de la interpretación de la disposición y arreglos que adopten tanto los reflectores planos como los puntuales.

Se considera invaluable la información que aportan las tomografías eléctricas, como también los sondeos geomecánicos de suelos en la ubicación de sitios potenciales de enterramientos clandestinos (Sagripanti *et al.*, 2013), a esto ahora se suma la comprobada potencialidad del georradar; sin embargo, la utilización de cualquiera de estas técnicas o metodologías en forma aislada no es lo aconsejable. Por lo tanto, si las condiciones que ofrecen el sitio y el medio físico son las apropiadas, se estima conveniente utilizar distintas técnicas para obtener varios niveles de información cuyo análisis en forma conjunta mejora la perspectiva de descubrir una fosa clandestina.

Los resultados obtenidos en los distintos casos de prospección con georradar, por la analogía que presentan con casos reales de diferentes tipos de enterramientos y ocultamiento de fosas clandestinas practicados, al menos en Argentina, se consideran relevantes ya que pueden hacer un valioso aporte a otros investigadores forenses como así también a operadores de georradar.

En definitiva, se espera que lo reportado en esta contribución sea un aporte para geólogos forenses y otros profesionales que se desempeñen o que comiencen a trabajar en esta temática, en particular, en la ubicación de sitios de enterramientos clandestinos de personas víctimas de desaparición forzada.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento a familiares de víctimas de desaparición involuntaria durante la democracia por permitirnos ayudarles, Rosa Sabena, Rosa Arias, Jessica Fontana, y a representantes de organismos provinciales y nacionales por haber confiado en nuestro trabajo, Lilián Videla (APDH-San Luis), Elba Morales<sup>+</sup> (MEDH-Mendoza), a los Antropólogos Forenses Anahí Ginarte, Juan Nobile y Fernando Olivares (EAAF), fiscales, jueces y policía judicial de distintas provincias. A la Dra. Adriana Cabrera (UNRC) por su importante ayuda y aportes en la corrección del manuscrito que

han ayudado mejorar el mismo y a las autoridades de las Universidades Nacionales de Río Cuarto y San Luis por apoyarnos y permitirnos desarrollar estas investigaciones.

## **REFERENCIAS**

Aguilera, D., Giaccardi, A., Membrives, A., Carrara, M.T., y De Grandis, N. 2006. Geofísica aplicada a la arqueología de "Santa Fe La Vieja". Arqueología de los siglos XVI y XVII. I Congreso Argentino de Arqueometría, Santa Fe, Argentina, pp. 493-501.

ATSS, 2016. Científicos Forenses: Cómo hacer que un desaparecido aparezca. Agencia TSS, Universidad Nacional de San Martín. Consultado el 11 de abril de 2016. <http://www.unsam.edu.ar/tss/cientificos-forenses-como-hacer-que-un-desaparecido-aparezca/>

CCI, 2010. Enciclopedia Criminalística, Criminología e Investigación. Sigma. Bogotá, pp. 1171-1181.

Davenport, G.C., France, D.L., Griffin, T.J., Swanburg, J.G., Lindemann, J.W., Trammell, V., Armbrust, C.T., Kondrateiff, B., Nelson, A., Castellano, K., and Hopkins, D. 1992. A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. *Journal of Forensic Sciences*, 37(6): 1445-1458.

Gil-Pecharromán, J. 2016. Sangría en los Balcanes: 25 años del inicio de las guerras yugoslavas. El Mundo. España. Recuperado de: <http://www.elmundo.es/la-aventura-de-la-historia/2016/03/31/56fa63e046163f57098b4575.html>

González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Madrid, 750p.

Hansen, J.D., Pringle, J.K., and Goodwin, J. 2014. GPR and bulk ground resistivity surveys in graveyards: Locating unmarked burials in contrasting soil types. *Forensic Science International*, 237: 14-29.

Irigaray, J.I. 2012. 197 desaparecidos y 3.500 asesinados en la democracia argentina. El Mundo. España. Recuperado de: <http://www.elmundo.es/america/2012/12/10/argentina/1355163535.html>

Molina, C.M., Saumett, M., and Romero, W. 2012. Using GPR to search mass graves. *Applied and Environmental Geophysics*, XIV Giambiagi Winter School. Buenos Aires, Argentina.

- Molina, C.M., Pringle, J.K., Saumett, M., and Hernández, O. 2015. Preliminary results of sequential monitoring of simulated clandestine graves in Colombia, South America, using ground penetrating radar and botany. *Forensic Science International*, 248: 61-70.
- Molina, C.M. 2016. Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación de geofísica de alta resolución. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 129p.
- Murray, R.C., and Tedrow, J.C.F. 1992. *Forensic geology: Earth sciences and criminal investigation*. Prentice Hall. New Jersey, 240p.
- Pringle, J.K., Ruffell, A., Jervis, J.R., Donnelly, L., McKinley, J., Hansen, J., Morgan, R., Pirrie, D., and Harrison, M. 2012. The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2): 108-123.
- Pringle, J.K., Cassella, J.P., Jervis, J.R., Williams, A., Cross, P., and Cassidy, N.J. 2015. Soilwater conductivity analysis to date and locate clandestine graves of homicide victims. *Journal of Forensic Sciences*, 60(4): 1052-1060.
- Puy Huarte, J. 1977. *Procedimientos de sondeos: Teoría, práctica y aplicaciones*. URPE. S.A. Madrid, 552p.
- Pye, K., and Croft, D. 2004. *Forensic geoscience: Principles, techniques and applications*. Special Publication of the Geological Society of London. London, 232p.
- Ruffell, A., and McKinley, J. 2008. *Geoforensics*. John Wiley and Sons. Belfast, 332p.
- Ruffell, A., Pringle, J.K., and Forbes, S. 2014. Search protocols for hidden forensic objects beneath floors and within walls. *Forensic Science International*, 237: 137-145.
- Sábato, E. 2006. *Nunca Más. Informe de la Comisión Nacional sobre la Desaparición de Personas*. Eudeba. Buenos Aires, 482p.
- Sagripanti, G., Aguilera, D., Giaccardi, A., y Cornero, S. 2012. Exploraciones geofísicas en arqueología histórica: Iglesia San Francisco Xavier, siglo XIX, San Javier, Santa Fe. *Revista del Centro de Estudios de Arqueología Histórica*, 1(1): 179-188.
- Sagripanti, G., Villalba, D., Aguilera, D., y Giaccardi, A. 2013. Geología forense: Métodos aplicados en la búsqueda de desaparecidos en la región central de Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70(1): 150-160.
- Schultz, J.J. 2008. Sequential monitoring of burials containing small pig cadavers using ground-penetrating radar. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2): 279-287.
- Schultz, J.J., and Martin, M.M. 2011. Controlled GPR grave research: comparison of reflection profiles between 500 and 250 MHz antennae. *Forensic Science International*, 209(1-3): 64-69.
- Schultz, J.J., and Martin, M.M. 2012. Monitoring controlled graves representing common burial scenarios with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 83: 74-89.
- Strongman, K.B. 1992. Forensic applications of ground penetrating radar; in *Ground penetrating radar*. Geological Survey of Canada, 90(4): 203-211.

---

---

Trabajo recibido: abril 17 de 2017  
Trabajo aceptado: junio 28 de 2017